

王新安, 黄继攀, 雍珊珊, 等. 2017 M_s 7.0 九寨沟地震前后 AETA 数据分析[J]. 华南地震, 2020, 40(1): 21–28. [WANG Xin'an, HUANG Jipan, YONG Shanshan, et al. Analysis of AETA Data before and after the M_s 7.0 Jiuzhaigou Earthquake in 2017 [J]. South China journal of seismology, 2020, 40(1): 21–28]

2017 M_s 7.0 九寨沟地震前后 AETA 数据分析

王新安^{1,2,3}, 黄继攀^{1,2,3}, 雍珊珊^{1,2}, 张兴³, 梁意文⁴

(1. 北京大学深圳研究生院集成微系统科学与工程应用重点实验室 广东 深圳 518055;
2. 北京大学深圳地震监测预测技术研究中心, 广东 深圳 518055; 3. 北京大学信息科学技术学院, 北京 100871;
4. 武汉大学计算机技术学院, 武汉 430072)

摘要: 九寨沟地震发生时, 中国四川省内布设了 36 个 AETA 台站, 形成了小区域的监测台阵。通过研究了这些台站的震前数据, 发现 13 个台站的数据出现了异常。其中 10 个台站出现地声异常, 6 个台站出现电磁扰动异常。同时, 一种与日升日落几乎同步的电磁扰动波形—SRSS 波被发现, 该波形在震中周边多处出现。这些异常很可能是九寨沟地震的前兆异常。AETA 台阵成功实现了单一震例下多分量多台站前兆异常的捕捉。未来拟进一步加密 AETA 台阵来实现更深入的研究。

关键词: 九寨沟地震; AETA; 地声; 电磁扰动

中图分类号: P315.62 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2020)01-0021-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2020.01.003

Analysis of AETA Data before and after the M_s 7.0 Jiuzhaigou Earthquake in 2017

WANG Xin'an^{1,2,3}, HUANG Jipan^{1,2,3}, YONG Shanshan^{1,2},
ZHANG Xing³, LIANG Yiwen⁴

(1. *The Key Laboratory of Integrated Micro-systems Science and Engineering Applications, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, China*; 2. *Earthquake Monitoring and Prediction Technology Research Center, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, China*;
3. *School of electronics engineering and computer science, Peking University, Beijing 100871, China*;
4. *Computer School of Wuhan university, Wuhan 430072, China*)

Abstract: When the Jiuzhaigou earthquake occurred, 36 AETA stations were set up in Sichuan Province, forming a small regional monitoring array. In this paper, the pre earthquake data of these stations are studied, and the data of the 13 stations are abnormal. 10 stations appeared geo-sound anomalies, and 6 stations appeared electromagnetic disturbance anomalies. At the same time, a kind of electromagnetic disturbance waveform—SRSS wave, which is almost synchronous with sunrise and sunset, has been found. The waveform appears in many

收稿日期: 2018-10-22

基金项目: 深圳市科技计划(编号 KJYY20170721151955849 & JCYJ20170412151159461)资助

作者简介: 王新安(1963–), 男, 教授, 主要从事地震监测预测和生命健康等研究. **E-mail:** anxinwang@pku.edu.cn.

通信作者: 雍珊珊(1987–), 博士, 助理研究员, 主要从事地震监测预测研究. **E-mail:** yongss@pkusz.edu.cn.

places around the epicenter. These anomalies may be the precursor anomalies of Jiuzhaigou earthquake. The AETA array successfully captures the precursory anomalies of multi-component and multi-station under a single earthquake case. In the future, it is proposed to increase the density of AETA array to do more in-depth research.

Keywords: Jiuzhaigou earthquake; AETA; Geo-sound; Electromagnetic disturbance

0 引言

北京时间 2017 年 8 月 8 日,四川省阿坝州九寨沟县发生了 $M_s 7.0$ 级地震^[1-2],此次震中距离 2008 年汶川地震约 246 km,距离 2013 年芦山地震约 331 km。

由于地球内部“不可入性”,地震构造结构复杂多样,大地震“非频发性”等因素限制,更为重要的是大地震在同一地点复发率极低,地震的监测预测相关研究进展缓慢^[3-4]。多位研究人员通过较少台站的仪器发现了汶川地震、日本 311 地震等地震前的电离层异常、电磁异常或地电阻异常等^[5-10]。邱认为地震前兆研究受到个案观测严重不足的限制^[11],提出以地震预报的要求为参照适当

加大区域前兆台网的密度的建议^[12],让监测点记录到相互印证的变化。

1 AETA 系统介绍

本团队研制的多分量地震监测系统——AETA (Acoustic and Electromagnetic Testing All in one system)^[13-15],主要监测电磁扰动和地声,拟进行大区域布设形成前兆监测台网。整个系统使用了两种传感器—电磁扰动传感器和地声传感器。其中电磁扰动传感器基于法拉第电磁感应定律^[13,16],地声传感器采用了压电薄膜传感器^[15,17]。系统分为传感探头、数据预处理终端、云服务器和数据分析客户端四部分^[14],如图 1 所示。

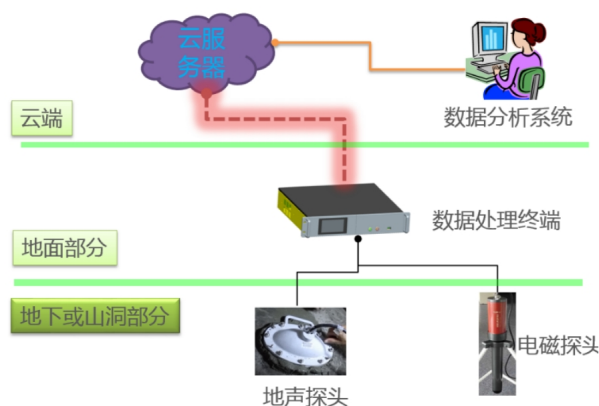


图 1 AETA 系统框图

Fig.1 The system block diagram of AETA

在设备可靠性方面,AETA 设备作为地震前兆监测的新型仪器,研发完成后由深交所上市公司卓翼科技^[18-19]进行生产。AETA 设备在卓翼科技出厂前进行了性能测试、灵敏度测试、噪声水平测试、老化测试和防水测试等^[13],设备的可靠性和稳定性得到了保证。

在 AETA 设备的数据一致性方面,在四川、云南、广东和河北的部分台站进行了单台站多设备的数据一致性对比,结果显示单台站内的多设备数据完全一致。其中,在九寨沟防震减灾局台站、青川姚渡台站和冕宁防震减灾局台站进行一

致性对比时,邀请了四川省地震局川滇国家地震预报实验场四川分中心相关负责同志现场监督。

AETA 设备 90%以上布设于中国地震局下辖的台站中,已最大可能避开了工业和生活的干扰信号,异常来自人类活动的干扰的可能性较低。在中国地震局与相关省市县局的支持下,从 2015 年 9 月开始进行 AETA 设备现场试验,AETA3.0 在四川省、云南省、河北省等地布设了 200 余套(2018 年 8 月)。九寨沟地震发生时,四川省内已布设 36 套 AETA3.0 设备(图 2),本文对 AETA3.0 的 36 套设备建立的监测台阵的数据进行分析研究。

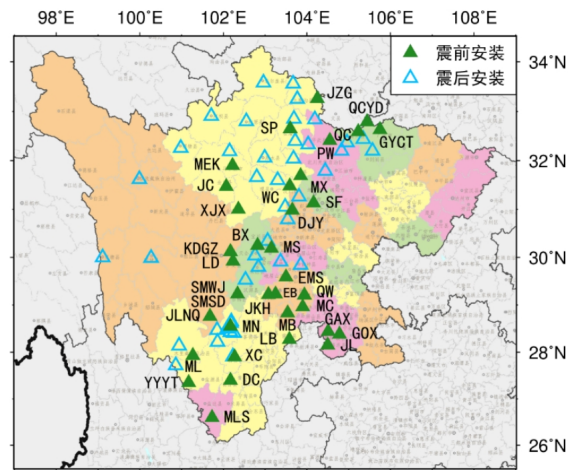


图 2 四川省已布设 AETA 台站

Fig.2 The installed AETA stations in Sichuan Province

2 数据与异常判别方法

如表 1 所示。各个台站由于安装时间有先后，为了统一分析，均采用震前 1 个月的数据作为分析对象。

本文数据来自四川省的 36 个 AETA3.0 台站，

表 1 AETA 台站信息表

Table 1 Information of AETA stations

站点名称	经度/(°)	纬度/(°)	震中距/(km)	开始时间/(年-月-日)	站点名称	经度/(°)	纬度/(°)	震中距/(km)	开始时间/(年-月-日)
JZG	104.25	33.26	40.55	2017-06-10	QW	103.94	29.21	443.81	2017-06-08
SP	103.60	32.65	64.51	2017-06-12	XCXM	103.25	29.23	444.76	2017-06-15
PW	104.55	32.41	11.23	2017-06-08	JKH	103.08	29.22	448.11	2017-06-06
QC	105.23	32.59	148.09	2017-06-07	SMWJ	102.34	29.23	463.32	2016-12-19
QCYD	105.42	32.78	156.36	2017-07-26	SMSD	102.34	29.23	463.32	2016-12-18
MX	103.85	31.69	167.93	2017-06-13	MC	103.90	28.96	471.53	2017-06-11
GYCT	105.75	32.63	190.98	2017-07-26	MB	103.54	28.83	486.65	2017-04-12
WC	103.59	31.48	192.47	2017-06-13	GAX	104.51	28.44	533.37	2017-03-13
MEK	102.22	31.90	208.29	2017-06-13	JLNQ	101.68	28.76	534.15	2017-06-17
SF	104.16	31.13	232.39	2017-06-05	MN	102.17	28.55	540.48	2016-12-15
DJY	103.65	30.98	247.37	2016-12-27	GOX	104.79	28.38	543.90	2017-03-11
JC	102.07	31.47	253.05	2017-06-12	LB	103.58	28.27	548.67	2017-04-14
XJX	102.36	31.00	280.63	2017-06-05	JL	104.50	28.15	565.28	2017-03-08
MS	103.15	30.19	340.64	2017-06-04	XC	102.27	27.90	607.71	2016-12-15
BX	102.82	30.25	341.38	2017-06-05	ML	101.27	27.93	634.75	2017-04-20
KDGZ	102.17	30.12	376.39	2016-12-21	DC	102.17	27.40	664.07	2017-04-23
LDQX	102.23	29.92	394.59	2016-12-22	YYYT	101.17	27.35	698.41	2017-04-19
EMS	103.50	29.59	402.56	2017-06-05	MLS	101.73	26.60	760.98	2017-04-22

每个 AETA 台站的数据包括电磁扰动低频、电磁扰动高频、地声低频、地声高频四种信号分量，每个分量有均值、振铃计数和峰值频率三种数据类型。这样，每个 AETA 台站有 12 条月数据，针对这 12 条月数据进行月尺度下的异常对比分析，具体流程如图 3 所示。首先从数据库获取 12 条月数据，第二步采用绘图工具将其变化展示，第三步完成异常标注，第四步进行异常与本次九寨沟地震相关性的判定，如果相关则到第五步进行异常统计，至此一个台站的数据分析完毕。

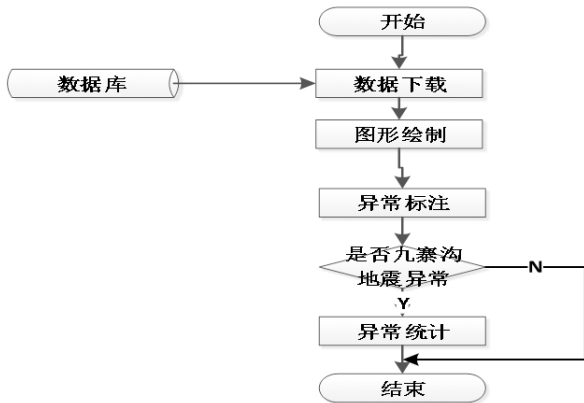


图 3 数据异常分析流程

Fig.3 The procedure of data anomaly analysis

上述过程中,前三步较为简单不再解释,下面将详细讲下第四步和第五步。第四步异常标注的方法包括:① 波动规律变化;② 幅值趋势性变化;③ 幅值短时性变化;④ 单位时间范围内波

动频度变化。

第五步是否为九寨沟地震异常的判断标准为:首先要排除人类活动干扰;其次排除“伪异常”,某种异常频繁出现但始终周边没有地震称之为“伪异常”;最后,看该异常附近是否有更近距离的地震事件,如果有则根据是否在根据距离 D_{is} 和震级 M_{ag} 的比值 R 来进行判断,若是与九寨沟地震的距离震级比较小,则认为该异常为九寨沟地震异常。

$$R = \frac{D_{is}}{M_{ag}} \quad (1)$$

以九寨沟防震减灾局(距离震中 40.55 km)的数据为例,对本文采用的数据对比方法和流程进行说明,图 4 为该台站震前一个月的 12 条月数据,通过如图 3 所示的流程中的第一到第四步处理后得到。根据图中发现,该台站 12 条数据中出现了一种或多种异常,在图中用红色矩形标记出。

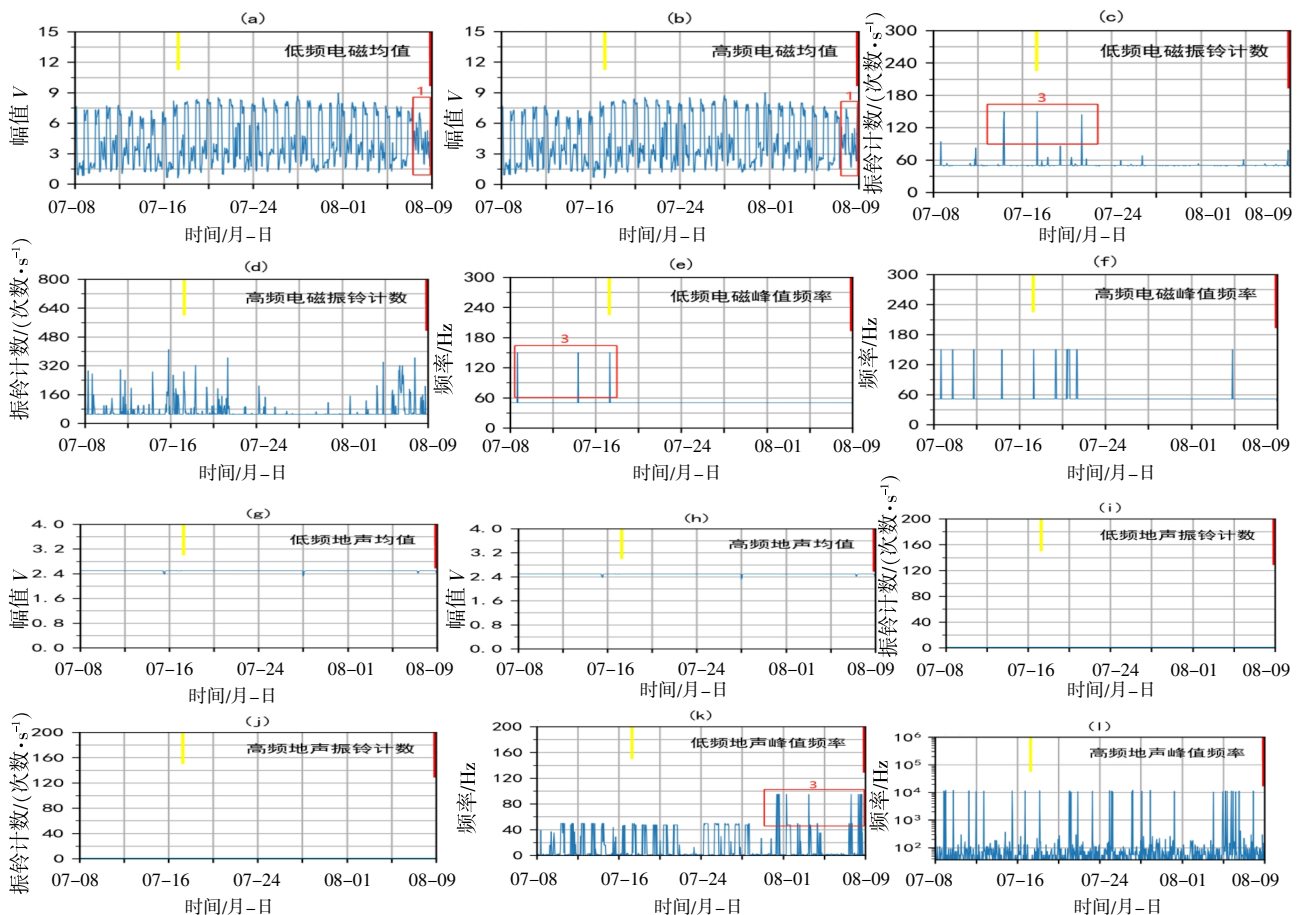


图 4 JZG 震前一个月 12 条月数据异常标注

Fig.4 Data anomaly note of JZG Station one month before the earthquake

九寨沟台站完成异常标记后,为了区分是九寨沟震前异常还是青川 4.9 级地震震前异常,计算

了距离震级比,如表 2。九寨沟地震距离震级比 R 较小,这些异常应属于九寨沟地震震前异常。

表 2 JZG 异常统计结果

Table 2 Statistics result of JZG anomalies

异常名	持续时间/ (月-日)	距离震级比 R		相关性
		九寨沟 7.0 级地震	青川 4.9 级地震	
低频电磁均值波动规律变化	08-07~08-08	5.786	29.1	九寨沟 7.0 级地震
高频电磁均值波动规律变化	08-07~08-08	5.786	29.1	九寨沟 7.0 级地震
低频电磁振铃计数幅值变化	07-08~07-21	5.786	29.1	九寨沟 7.0 级地震
低频电磁峰值频率幅值变化	07-08~07-21	5.786	29.1	九寨沟 7.0 级地震
低频地声峰值频率幅值变化	07-31~08-08	5.786	29.1	九寨沟 7.0 级地震

3 异常分析结果与讨论

3.1 地震前异常结果与讨论

根据上述异常判别方法，对全部 35 个 AETA 台站进行分析和统计发现，共计 13 个台站出现了异常，其中 10 个台站出现地声异常，6 个台站出现电磁异常，如图 5 和图 6 所示，图中用红色五角星注明了地震发生当天。

将数据异常进行可视化展现，如图 7 所示，发现超过 50% (7/13，SP、PW、SMWJ、XCXM、EMS、EB、MC) 的异常台站在地块边界。图 7 中的中国大陆板块边界数据来源于文献 [20]。

对这些异常台站的数据持续进行跟踪，大部分台站的异常均在震后 1 d 内消失了，未消失反而持续较长时间的有 3 个，它们是 JZG、SP、QC

以上结果显示，九寨沟地震发生前，九寨沟周边地区有多个 AETA 台站出现不同程度的异常。

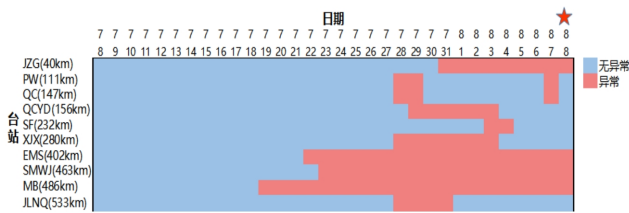


图 5 九寨沟地震震前地声异常统计图示

Fig.5 Anomaly of geo-sound before the jiuzhaigou earthquake

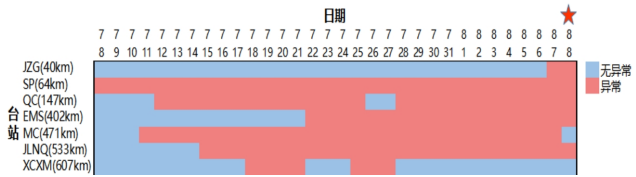


图 6 九寨沟地震震前电磁扰动异常统计图示

Fig.6 Anomalies statistics of EMD before the

Jiuzhaigou earthquake

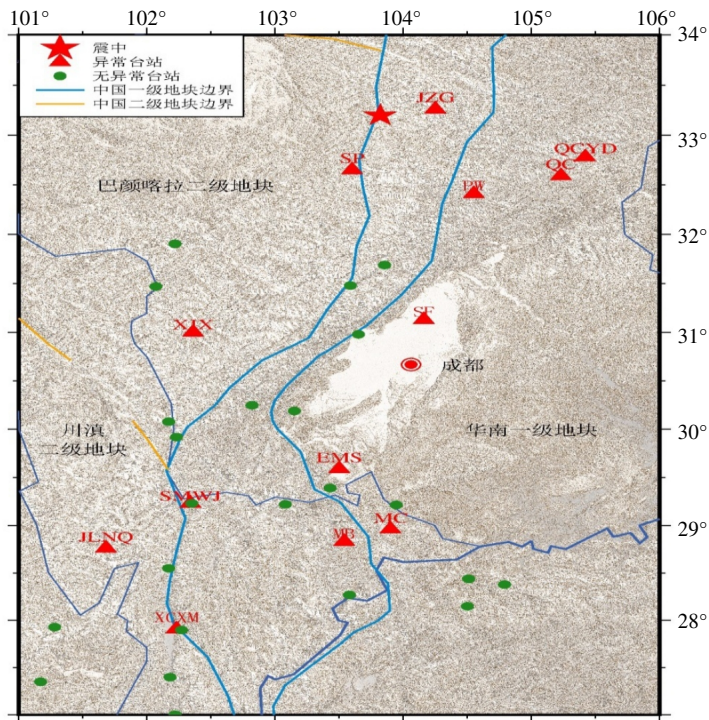


图 7 异常台站与震中分布图示

Fig.7 Distribution map of abnormal stations and epicenters

在 AETA 电磁数据是否受到磁暴干扰方面,可基本排除磁暴的干扰:据日本京都地磁数据中心^[21]的数据,在 7 月 8 日至 8 月 8 间仅仅在 7 月 18~19 日发生约 -80 nT 的中等磁暴,其他时段 AETA 电磁数据未被磁暴干扰。

3.2 震后流动观测与 SRSS 波的发现

大地震的临震过程的前兆异常信号,有些震后立刻消失,有些震后会持续一段时间。对持续的异常信号进行分析,有助于加深对震前异常信号的理解。于是, JZG、SP、QC 这三个台站得到了进一步的观察研究。

观察研究后发现 JZG、SP、QC 均出现一种与“日升日落”几乎同步的电磁扰动特征值波动波形,如图 8 所示:日升下降、日落上升,本文称之为 SRSS (Sunrise-Sunset) 波,其中 JZG 该波形出现时间为 6 月 10 日至 11 月 5 日,SP 为 6 月 12 日至 9 月 16 日、QC 为 7 月 25 日至 9 月 26 日、10 月 27 日到 11 月 4 日,如图 8(a)、8(b)、8(c)所示。JZG 和 SP 台站自从台站安装便出现 SRSS 波, QC 台站是过了一个多月才出现 SRSS 波 (JZG 台站安装于 2017 年 6 月 10 日, SP 台站安装于 2017 年 6 月 12 日, QC 台站安装于 2017 年 6 月 8 日)。

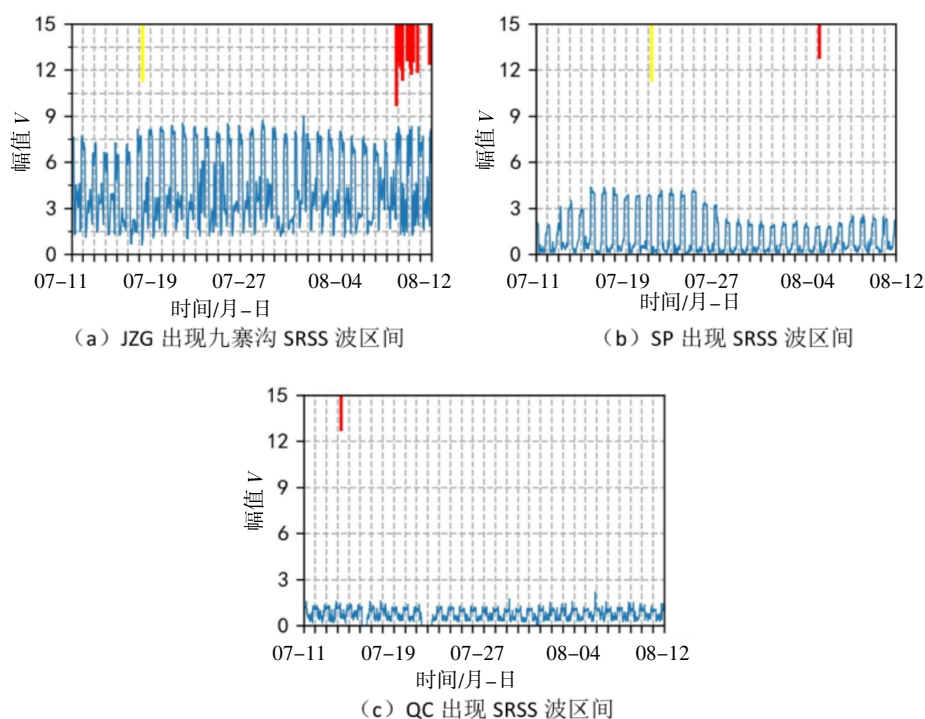


图 8 SRSS 波出现的台站

Fig.8 The stations which occur SRSS wave appear

震后第二天笔者在震中周边的乡镇和县城紧急布设了 3 台 AETA 设备在多个地点流动观测,观测地点分布如图 9 所示,其中每个地点观测时间约一天。

各个流动站点的观测数据结果如图 10 所示。图 10 中左列为九寨沟县城各个观测点的数据,从图中可以看出,九寨沟县城中鲁能大厦、县派出所、防震减灾局、小九寨农庄和黄浦酒店均出现 SRSS 波,九力大厦、九江农庄和悦榕庄波形较为平静、几乎没有波动,九寨庄园酒店和永乐镇波形介于二者中间、呈现出一定的波动。图 10 中右列为九寨沟县各个乡镇的流动测点位置图,同样

用红色、绿色和蓝色来代表波动剧烈、波动平静和波动一般的台站。从图中可以看到,在震中附近的干海子、罗伊乡出现类似 SRSS 波,漳扎镇、永和乡、黄龙机场出现一定的波动,玉瓦乡、白河乡、树正寨、保华乡波形比较平静、波动较小。震后流动观测的数据,证实了震中周边几十公里范围内多处存在 SRSS 波。

为了深入研究这一波形的出现与地震发生的相关性,对四川省 AETA 台站数据进行了相关统计分析。统计了 2017 年 1 月 1 日至 12 月 31 日所有 3 级以上地震(排除掉九寨沟地震及其余震),在震中 100 km 范围内有 AETA 台站的情况下,检

查这些 AETA 台站是否出现 SRSS 波。统计结果发现, 符合条件的地震有 8 个, 每个地震事件中周边 AETA 台站均至少有一个台站出现了 SRSS 波, 具体如图 11 所示。

这种在日升前幅值变大, 日落后幅值变小的 SRSS 波形, 不仅仅在四川发现, 在云南、河北和广东均有发现。可见是一种典型的波形, 很可能是地下地质活动的反映。

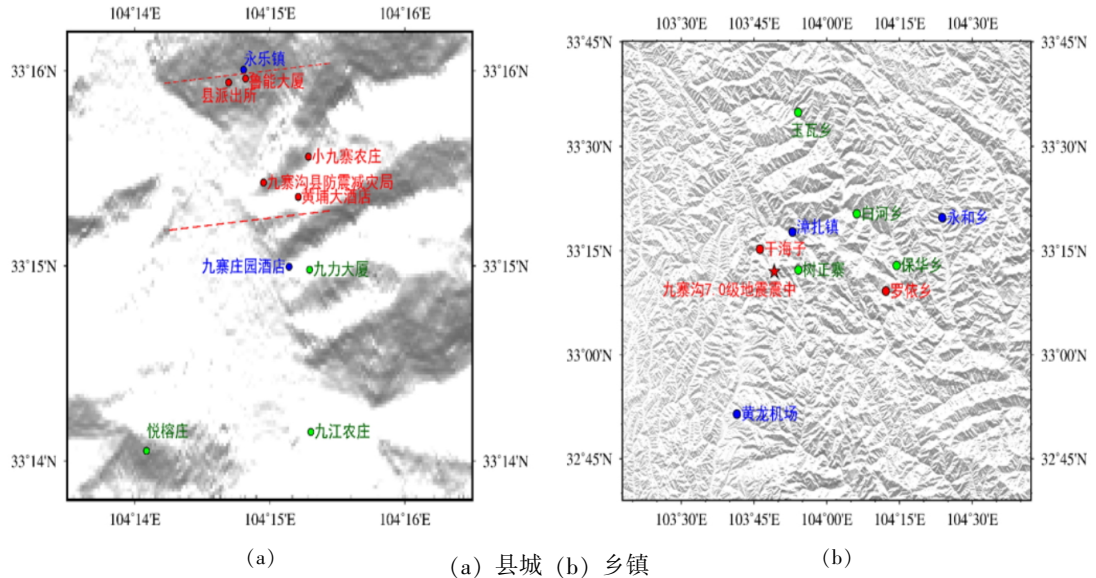


图 9 九寨沟流动观测点

Fig.9 The mobile observation sites in JZG County

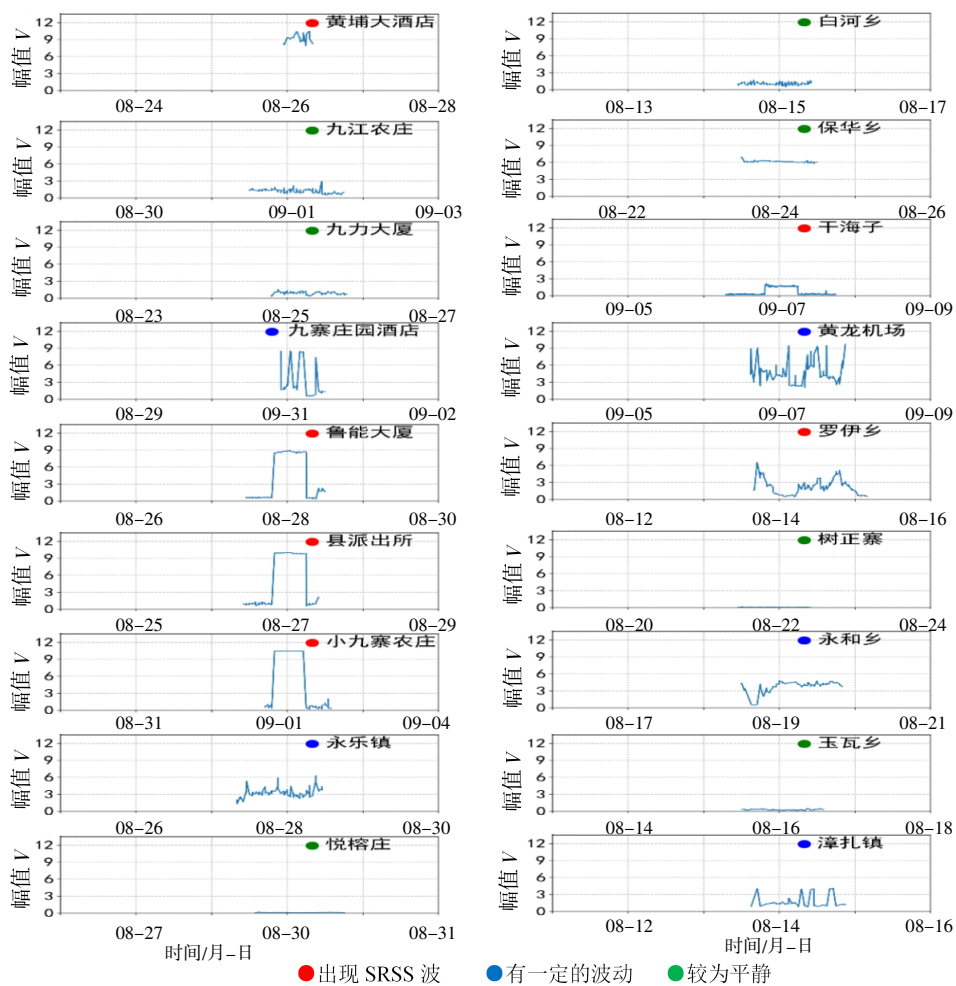


图 10 流动观测电磁均值示意图

Fig.10 The EM mean-value samples of mobile observation sites

